基于问题解决式的类比推理的老化：表面相似性和结构相似性的作用*

李美佳[1]　庄丹琪[2,1]　彭华茂[1]

([1]北京师范大学发展心理研究院，北京 100875)

([2]前锦网络信息技术(上海)有限公司北京分公司，北京 100016)

摘　要　采用2年龄(老年/年轻)×2表面相似性(高/低)×2结构相似性(高/低)三因素混合设计，考察表面信息和结构信息在基于问题解决范式的类比推理老化中的作用。结果发现，老年人的类比推理成绩显著差于年轻人。源问题和靶问题的表面相似性和结构相似性的提高，会促进个体检索源问题，并提高推理质量。对于老年人而言，表面相似性更重要；对于年轻人而言，结构相似性更重要。

关键词　类比推理；迁移；问题解决范式；表面相似性；结构相似性

分类号　B844

1　引言

类比推理指在某情景或领域中先前获得的有关问题(源问题)解决方法的知识向另一个情景或领域问题(靶问题)的迁移(Gentner, 1988)。例如，鲁班被齿状边缘的叶子割伤手指而发明锯子锯开木头、人类根据鸟飞行的原理制造了飞机。类比是具有适应性的机制，可减少自然情境下问题解决的不确定性(Chan, Paletz, & Schunn, 2012)。类比和相似性在学习和迁移上具有重要作用(Gentner, Rattermann, & Forbus, 1993)。

类比推理研究中，推理任务形式包括两类。一类是皮亚杰提出、斯滕伯格(Sternberg & Nigro, 1980)改进的经典类比推理任务范式，其一般形式为a:b::c:d，如面包：牛奶::油条：豆浆，即人们可以由面包和牛奶的关系(西式早餐搭配)推测出油条和豆浆的关系(中式早餐搭配)。另一类是问题解决式的推理任务(Chen & Siegler, 2013)，即面临新异问题(target)时，利用先前具有相似情形的问题解决方法(source)来解决当前问题，如被试阅读一个源问题：“樵夫李老头推一车柴下山，他口渴了便拿出水壶喝水。不料柴车着火，但周围没有水源，李老头情急之下赶紧把水壶中的水泼在柴车上，但由于水太少了，火势依旧凶猛。他只能眼看

收稿日期：2017-10-16

* 国家自然科学基金(31000466)资助。

通讯作者：彭华茂, E-mail: penghuamao@bnu.edu.cn

着自己的柴车被大火烧尽了”。在这个故事情境中，樵夫解决问题的方式是把身边可得到的液体(汤)泼洒在着火的车上，但只是杯水车薪，无法熄灭大火。之后被试阅读靶问题——“农民老张摘了一车的草准备运回家喂牲口。老张有些饿了，就停下来休息，拿出一碗汤。不料天气太热，老张发现草正在被烤焦，发出刺鼻的味道”——并回答此故事情境中接下来会发生什么事情。根据源问题中类似的情节发展，应当是“老张情急之下赶紧把手中的汤洒在草上，但只是杯水车薪，老张只能眼看着车里的草全被烤干了”。

以往的研究通过词语推理(Bugaiska & Thibaut, 2015; Clark, Gardner, Brown, & Howell, 1990)、字母序列归纳推理(Saczynski, Willis, & Schaie, 2002)、已知前提类比句子关系(Salthouse, Legg, Palmon, & Mitchell, 1990)等发现老年人的类比推理能力出现普遍的下降，老年人在类比推理中整合关系存在困难，难以抑制无关特征对正确信息的干扰作用(Viskontas, Holyoak, & Knowlton, 2005)，以及较慢的反应时(Clark et al., 1990)等。在脑机制方面，研究者发现白质完整性(white matter integrity)与成套的认知能力测验中的推理能力及老年人的日常功能之间存在相关关系，前额叶皮层白质束和两半球间的交流在更高阶的认知功能中具有重要作用(Monge, Greenwood, Parasuraman, & Strenziok, 2016)。但经典类比推理任务范式的实验材料多为图形、字母、数字等，对于老年人来说问题形式不一定熟悉，且材料提供的背景信息相对较少。基于问题情境的推理任务通常以故事或问题呈现任务，需要被试根据长时记忆中得源问题将靶问题补充完整，需补充的部分不涉及故事主线(HOR)，但模拟了真实的问题解决情境中的界定不清晰问题。相比于经典类比推理任务，基于问题情境的推理任务可提供更多背景信息(context)，可能会有助于老年人完成推理任务。已有研究发现，在儿童研究中使用基于问题的类比推理任务，会比经典类比任务范式下表现的更好(Brown & Kane, 1988)，通过视频呈现更多信息也会有助于推理(Chen & Siegler, 2013)。故而，本研究推论使用该范式将会比经典类比任务更有助于老年人完成推理任务。此外，老年人在实际生活中，有更多机会遇到可基于先前问题解决办法来应对新问题的情况，老年人自身的生活经验和智慧可能也会有助于老年人完成问题解决式的推理任务(Jeste & Oswald, 2014)。但目前基于问题解决式的推理研究较少，且被试多为儿童(Tunteler, 2002)、青少年(Jablansky, Alexander, Dumas, & Compton, 2016)和大学生(Catrambone, 2002; Ross, 1989)。因此，老年人在基于问题解决的类比推理任务中，是否也表现出较差的成绩，是本研究考察的问题之一。

发展研究中，对关系相似性的理解和表征是推理能力发展的重要内部基础(Gentner, 1988; Goswami, 1991; 辛自强, 2007)，不论是经典推理任务(a:b::c:d)还是问题解决任务(Chen & Siegler, 2013)均如此。相似性会影响社会关系中对他人行为的表征(Liviatan, Trope, &

Liberman, 2008)、判断及决策偏差(Koehler, Brenner, Liberman, & Tversky, 1996)等。靶问题和源问题对应各成分的相似性可以促进对源问题的检索(Catrambone, 2002; Holyoak & Koh, 1987)。自 20 世纪 90 年代起，研究者(Catrambone, 2002; Gentner et al., 1993)将问题解决式的类比推理任务中的信息分解为表面信息(surface feature)和结构信息(structural feature)两种类型。表面信息包括实体(entities)和谓项(attributes)，实体通常指故事中所包括的人和客观事物，如：“樵夫”、“柴”；谓项是形容实体的属性，如“高大的”。结构信息包括初级关系(first-order relation)和高级关系(higher-order relation)。初级关系表达的是实体间的关系，一般是动词，例如故事中的“泼”、“着火”等；高级关系是以整个问题作为客体提取出的抽象规则，如“杯水车薪”，源问题和靶问题共享一个高级关系才能形成类比关系。对源问题和靶问题表面信息和结构信息相似性的再认，引导着相关源问题的提取和选择，并用到靶问题的解决中。

源问题和靶问题成分的相似性可促进检索源问题，从而提高推理成绩(Catrambone, 2002; Holyoak & Koh, 1987)，但相似性作用复杂，表面相似性和结构相似性的作用谁更大一直存在争议(similar debate; Bulloch & Opfer, 2009)。一方面，有研究发现精确推理有赖于结构相似，如因果结构(Holyoak & Koh, 1987)、原则使用等。Gentner (1983)认为在问题解决阶段起主要作用的是问题中的初级关系和高级关系，问题解决者能否归纳出这种高级结构关系是解决问题的关键。Holyoak 和 Koh (1987)的图式理论认为在编码源问题阶段产生图式——即总结出结构信息，在靶问题出现时，不用直接回忆出源问题就可解决问题，结构的相似性似乎能够更强地激活对源问题的检索。Schnotz 和 Baadte (2015)对图形推理的表面结构和深层结构进行操纵，发现当年轻人被试回忆起深层结构时，回忆准确性更好，深层结构比表面结构效果更强。另一方面，也有研究认为基于相似性的提示作用源自表面相似而非结构相似。Ross (1984)发现，故事因果关系的相似性对目标故事通达作用很大，即提取类比源，但对准确应用该故事的规则，即结构信息影响不大。在儿童研究中也发现正确映射更多依赖表面相似性(Pierce & Gholson, 1994)，儿童在九岁前很难利用结构相似性进行推理。在老年人的推理研究中，老年人亦更多编码了表面信息。Viskontas, Morrison, Holyoak, Hummel 和 Knowlton (2004)使用人物碎片类比任务(people pieces analogy task)对老年人类比推理进行考察，源问题和靶问题各包含一对人物图片，可能在“性别、高矮、胖瘦、黑白”四个维度上出现相同，被试需根据源问题图片下方要求观察的某一个或两个维度整合出源问题两个人物的一致性关系(只有“相同”或“不同”两种关系)；然后呈现靶问题，让被试判断靶问题中两个人物在要求观察的维度下，一致性是否与源问题一样。结果发现老年人更多编码表面信息，没有或较少地加工关系(结构)信息(Viskontas et al., 2004)。此外，在视觉工作记忆的研究中发现，相比单

独记忆颜色这一表面信息，老年人将表面信息(颜色–形状)结合的能力出现衰退(Isella, Molteni, Mapelli, & Ferrarese, 2015)，神经计算模型显示这种年龄相关的结构提取能力下降与表征中噪音增多有关(Rhodes, Parra, Cowan, & Logie, 2017)。综合前人研究，不同年龄的被试似乎存在不同的结论：结构相似性占优势的研究，对象大多是年轻人(Holyoak & Koh, 1987; Schnotz & Baadte, 2015)；而对于儿童和老年人，则更优先加工表面相似性(Viskontas et al., 2004)。因此本研究关注的问题之二为：在基于问题解决式的类比推理任务中，老年人和年轻人对表面信息和结构信息相似性的敏感程度是否存在差异？根据以往研究结果，相比结构相似，表面信息相似性的提高是否能更多促进老年人的推理？

综上所述，本研究基于问题解决范式，采用故事类比的任务，通过对源问题和靶问题中包含的表面信息和结构信息的相似性进行系统操纵，使得老年人和年轻人对源问题达到同等编码水平，旨在研究以下两个问题：(1)基于问题解决范式的类比推理，老年人的成绩相比于年轻人是否出现下降；(2)类比推理中表面相似和结构相似对不同年龄群体的推理质量是如何作用的：对于老年人而言，是否表面相似性更重要；对年轻人而言，是否结构相似性更重要？

2　方法

2.1　被试

在北京师范大学招募 29 名 20~26 岁的年轻人(年龄：M = 21.86, SD = 1.43；受教育年限：M = 14.48, SD = 1.02)；在北京市社区招募 32 名 62~79 岁的健康老年人(年龄：M = 69.09, SD = 5.11；受教育年限：M = 14.34, SD = 2.46)，无脑部疾病或神经退行性疾病，如阿尔兹海默症。所有被试视力或矫正视力正常，均完成任务，数据有效。两组被试在受教育年限[$M_{年轻人}$ = 14.48, $M_{老年人}$ = 14.34; $t(42)$ = 0.29, p = 0.771]上无显著差异。类比推理任务涉及语义理解能力，故使用韦氏成人智力量表(城市版)中的解词测验对被试的语义理解能力进行测量，两组在词汇理解上亦无显著差异[$M_{年轻人}$ = 17.17, $M_{老年人}$ = 16.65; $t(59)$ = 0.94, p = 0.353]。实验后给予报酬。

2.2　**实验材料**——类比推理任务

本实验参照 Gick 和 Holyoak (1983)的范式，采用基于问题解决式的推理任务。给被试呈现一个源问题，被试阅读后根据源问题中的解决办法，将靶问题的解决方法补全。阅读源问题时保证被试均编码到高级关系层次，即总结出规律。操控靶问题和源问题的表面信息和结

构信息的匹配数来量化表面、结构相似性程度；以是否正确补全靶问题的解决情况作为推理质量。源问题–靶问题对基于中国成语编制而成，共享同一个高级规则，共 4 个源问题故事，每个源问题故事根据相似性衍生出 4 个靶问题故事。源问题–靶问题的高级关系信息分别由杯水车薪、伯乐相马、恰到好处、叶公好龙四个成语来表达。具体材料举例见表 1。

表 1　目标源问题与靶问题举例(杯水车薪)

问题		内容	
源问题		李老头是个**樵夫**，他正推了一车的**柴**下山。正好他有些渴了，就停下来休息，掏出随身携带的水壶准备喝**水**。不料这时柴车**着火**了，火势凶猛。周围没有水源，李老头情急之下赶紧把水壶中的水**泼**在柴车上。但由于水太少了，火势依旧凶猛。他只能眼看着自己的柴车被大火**烧尽**了。	
靶问题		结构信息相似性	
		F1	F3
表面信息相似性	E1	老张是个面朝黄土背朝天的**农民**，这天他买了一车的冰糖准备运回家。 老张有些热了，就停下来休息，拿出一些冰块。 不料这时围上来一群孩子，偷偷的拿冰糖吃。 手里也没有其他的东西，老张情急之下赶紧把手中的冰块**倒**在孩子身上，想赶走他们。 ____________________。 农民老张只能眼看着车里的冰糖全被孩子吃光了。	老张是个面朝黄土背朝天的**农民**，这天他买了一车的冰糖准备运回家。 老张有些热了，就停下来休息，拿出一些冰块。 不料天气太热，老张发现冰糖正在被太阳**晒化**。 离树荫太远了，老张情急之下赶紧把手中的冰块**倒**在冰糖上。 ____________________。 老张只能眼看着车里的冰糖全被太阳**晒化**了。
	E3	老张是个面朝黄土背朝天的**农民**，这天他摘了一车的**草**准备运回家喂牲口。 老张有些饿了，就停下来休息，拿出一碗**汤**。 不料这时一群兔子围拢上来，偷吃他摘的草。 手里也没有其他的东西，老张情急之下赶紧把手中的汤**洒**在手上喂兔子。 ____________________。 老张只能眼看着车里的草全被吃光了。	老张是个面朝黄土背朝天的**农民**，这天他摘了一车的**草**准备运回家喂牲口。 老张有些饿了，就停下来休息，拿出一碗**汤**。 不料天气太热，老张发现草正在被**烤焦**，发出刺鼻的味道。 离小溪太远了，老张情急之下赶紧把手中的汤**洒**在草上。 ____________________。 老张只能眼看着车里的草全被**烤干**了。

注：加粗部分为与源问题形成匹配关系的表面信息或结构信息；划线处为被试延迟三天后，提示其可根据先前阅读内容作答后，填写该靶问题可能发生的事情。E = 实体(entities); F = 初级关系(first-order relation)。

表 1 故事“杯水车薪”的例子中的表面信息与结构信息对应关系，如表 2。

表 2　表面特征与结构特征的相似性情况(如：杯水车薪)

相似性情况	类比推理故事				
	源问题	E3F3	E1F3	E3F1	E1F1
表面信息	樵夫	农民	农民	农民	农民
	柴	草	(冰糖)	草	(冰糖)
	水	汤	(冰块)	汤	(冰块)
结构信息	着火	烤焦	晒化	(偷吃)	(偷吃)
	泼	洒	倒	洒	倒
	烧尽	烤干	晒化	(吃光)	(吃光)

注：数字为对源问题与靶问题之间的表面特征和结构特征相似的情况，如：E3F3 为源问题与靶问题之间有 3 处表面信息相似，即包括主体和客体的实体；有 3 处结构信息相似，即初级关系信息，包含描述实体间的关系的动词。加括号的为靶问题中与源问题不匹配时使用的替代项。

填充材料来自于 Gentner 等(1993)，经修改后作为填充材料。每个源问题和靶问题之间共享一个高级结构关系(HOR)的匹配，填充材料和实验材料的比例是 4:1 (Catrambone, 2002)。设置填充材料的目的在于：(1)防止被试直接关联源问题和靶问题。被试阅读大量的源故事，延迟一段时间后再阅读大量的靶故事，研究者关注源故事是否会对靶故事的解决有提示作用；若有作用，则提示作用是由特定的源故事带来的吗？(2)使研究更具生态效度。在现实生活中遇到不同情境的问题时，需从先前遇到过的问题情境中发现可类比的情境，但往往只有一部分问题是拥有先前解决经验的，为模拟生活经验，设置填充材料。

正式实验前需对实验材料中源问题和靶问题的相似性进行评估，以保证源问题与靶问题之间的表面信息与结构信息匹配有效。让 11 名年轻人和 12 名老年人对来自源问题和靶问题故事的词语对(实体和初级关系)以及源问题和靶问题故事背后说明的道理的相似性(高级关系)的进行相似性 6 点评分，0 表示“非常不相似”，5 分表示“非常相似”，分数越高则相似性越高。经修改和调整后，不同年龄组对实体对和初级关系对相似性评分，如：樵夫−农民(M = 3.68, SD = 1.16)，均显著高于不相似对(t = 520.13, p < 0.001)，如：柴−冰糖(M = 1.13, SD = 1.18)，且均认为源问题和靶问题之间的具有相同的高级关系(M = 3.75，与中值 2.5 之间存在显著差异，t = 16.64, p < 0.001)，即提取出的抽象规则一致。材料评估确保了表面相似性和结构相似性的操控有效性。参与材料评估的被试与正式实验人群同质但不重合。

2.3　实验设计

本实验采用 2(年龄组：老年/年轻)×2(表面相似性：高/低)×2(结构相似性：高/低)混合设计，其中年龄组为被试间变量，表面相似性和结构相似性为被试内因素。因变量为被试对靶问题的补充情况，即推理质量。表面信息指故事中出现的实体(简称 E)，以实体间的匹配对数

来量化表面相似性程度(如：樵夫和农民、柴和草), 3 对实体匹配为高表面相似性(用 E3 表示), 1 对实体匹配为低表面相似性(E1)。结构信息分为初级关系信息和高级关系信息，本实验主要操纵了初级关系信息的相似性，将故事中出现的动词作为初级关系(简称 F)，用谓语间的匹配对数来量化结构相似性程度(如：x 着火, x 烤焦; x 泼 y, x 洒 y; Catrambone, 2002)，如"老张洒汤"可以衍生出"老张洒水"，"李老头洒汤"等。3 对初级关系匹配为高结构相似性(F3)，1 对初级关系匹配为低结构相似性(F1)。相似性关系见表 2。源问题和靶问题的高级关系信息保持一致，即源问题、靶问题有共同的抽象规律或因果结构(如：杯水车薪、不自量力)。这样 1 个源问题可以衍生出 4 个相似性水平不同的靶问题，即 E3F3, E1F3, E3F1, E1F1 表示。其中 E3F3 的源问题和靶问题之间总体相似性水平最高, E1F1 的相似性水平最低。具体示例见表 1。

整个推理任务分为学习和测试两个阶段。学习阶段，被试学习 4 个源问题，另有 16 个填充问题。延迟三天后为测试阶段(Catrambone, 2002)。在类比推理中，即时类比更多是在工作记忆范畴下的讨论，而延迟匹配则是长时记忆的作用，故延迟时间会起到一定作用(Chen, Mo, & Honomichl, 2004)。被试在学习阶段阅读大量源故事，延迟一段时间后源故事是否会对靶问题的解决起到提示作用以及表面相似性和结构相似性对靶问题解决的提示作用哪个更大是本研究关注的问题。在决定延迟天数时，Catrambone (2002)的研究间隔时间为 7 天，但即使是相似度最高的源问题回忆率也仅有 0.31，可以预期老年人或会出现"地板效应"。本研究中延迟间隔时间设定为 3 天(张庆林，王永明，1999)，结果发现年轻人没有出现"天花板效应"，老年人也无"地板效应"，故这一间隔时间较为合适。测试阶段，被试完成 4 个靶问题及另外 16 个填充问题的测查。每个源问题都对应 4 种相似水平不同的靶问题，为避免被试重复回答类似情境问题且对同一情境的问题进行 4 种相似性条件下的反复推理，故采用拉丁方设计：在测试阶段，每个被试看到 4 个源问题各自对应的 4 个不同相似水平的靶问题中的 1 个，并保证每个被试最后均接受 4 种相似水平的不同靶问题。如被试 A 在测试阶段，完成杯水车薪 E3F3、伯乐相马 E1F3、恰到好处 E3F1、叶公好龙 E1F1；被试 B 完成杯水车薪 E1F1、伯乐相马 E3F3、恰到好处 E1F3、叶公好龙 E3F1；被试 C 完成杯水车薪 E3F1、伯乐相马 E1F1、恰到好处 E3F3、叶公好龙 E1F3；被试 D 完成杯水车薪 E1F3、伯乐相马 E3F1、恰到好处 E1F1、叶公好龙 E3F3。总的来说，被试接受的实验处理是一样的，只是具体处理对应的故事情境不同。

2.4　程序

学习阶段：被试填写知情同意书和人口学变量(年龄、性别、受教育年限)。学习一个词表，并要求被试尽量准确记下来。被试学习 20 个源问题(4 个目标源问题, 16 个填充材料)，并总结每一个源问题的高级结构信息，即提炼出故事说明的道理或得到的启示(Gick & Holyoak，1983)，例如从表 1 的问题中总结出“杯水车薪”。为排除编码阶段差异带来的影响，使被试有充足的时间阅读源问题，主试还要指出被试理解错误的题目，诱导其正确理解故事的因果关系，保证被试都能编码源问题的高级关系。填充材料来自 Gentner 等人的研究(Gentner et al., 1993)。

测试阶段(与前测间隔三天)：首先，完成词表再认任务作为长时记忆的指标。随后，给被试随机呈现 20 个靶问题(4 个目标靶问题，16 个填充问题)，指导语提示被试所看到的新问题可能与之前学习的问题类似，需要将靶问题补充完整。靶问题补充情况作为推理质量，采用 0/1 计分，正确补充计 1 分，不能完全正确补充则计 0 分，每种相似性条件下满分为 2 分。4 个目标靶问题需补充的部分不涉及实验操纵的实体和初级关系。全部补充完整后，主试告诉被试将随机抽取 4 个故事(4 个目标靶故事)，需被试报告是否能想起学习阶段与其对应的源故事，并将对应的源问题写出，以此核查被试是否根据源问题来补充靶问题。对目标源问题的检索质量(检索表面信息和结构信息的指标)为写出源问题中表面信息和结构信息的总个数，每回忆出一个实体或初级关系计 1 分，对 1 个源问题的检索质量，表面信息检索满分为 3 分(3 个实体)，结构信息检索满分亦为 3 分(3 个初级关系)。研究以主试–被试一对一访谈的形式进行，保证被试能够理解材料及任务的含义。

3　结果

3.1　推理质量的年龄特征

学习与测验阶段间隔三天涉及到长时记忆，而两个年龄组在后测词语再认的正确率上没有显著差异[$t(59) = -0.55$, $p > 0.05$]，故检索源问题的分析若出现差异将排除是老年人长时记忆较差的原因。

表 3　不同相似性条件下的推理质量($M \pm SD$)

组别	表面信息相似性	结构信息相似性		总分
		F1	F3	
年轻组	E1	0.28 ± 0.46	0.76 ± 0.44	0.52 ± 0.28
	E3	0.69 ± 0.47	0.76 ± 0.44	0.72 ± 0.39
	总分	0.48 ± 0.28	0.76 ± 0.37	0.62 ± 0.28
老年组	E1	0.22 ± 0.42	0.31 ± 0.47	0.27 ± 0.28
	E3	0.38 ± 0.49	0.59 ± 0.50	0.48 ± 0.35
	总分	0.30 ± 0.31	0.45 ± 0.37	0.38 ± 0.25

以表面相似性和结构相似性为被试内变量，年龄组为被试间变量进行 2×2×2 方差分析，结果发现：首先，年龄主效应显著[$F(1,59) = 13.29$, $p < 0.01$, $\eta^2 = 0.184$]，事后多重比较结果显示，年轻组明显优于老年组($MD = 0.25$, $p < 0.01$)；其次，表面相似性的主效应显著[$F(1,59) = 17.62$, $p < 0.01$, $\eta^2 = 0.230$]，结构相似性主效应显著[$F(1,59) = 16.74$, $p < 0.01$, $\eta^2 = 0.221$]，源问题和靶问题之间的表面信息与结构信息的相似性对推理质量有显著影响，事后多重比较结果显示，E3 条件明显优于 E1 ($MD = 0.21$, $p < 0.01$), F3 条件明显优于 F1 ($MD = 0.22$, $p < 0.01$)，因此，信息点相似越多，推理情况越好(见表 3)。

表面信息、结构信息和年龄的三阶交互作用显著，$F(3,177) = 4.45$, $p < 0.05$, $\eta^2 = 0.070$。简单简单效应分析结果显示：年轻人在高结构相似性条件时(F = 3)，高/低表面相似性之间推理质量差异不显著，$F(1,59) = 0.38$, $p = 0.539$, $\eta^2 = 0.006$；而当结构相似性较低时(F = 1)，高表面相似性条件下的推理质量显著优于低结构相似性，$F(1,59) = 14.26$, $p < 0.001$, $\eta^2 = 0.195$, $MD = 0.41$ (见图 1 左)。这表明结构信息对年轻人更重要。老年人则相反，表面信息对其更重要：在表面信息相似性较低时，高结构相似性与低结构相似性之间无显著差异，$F(1,59) = 0.59$, $p = 0.444$，说明在表面信息相似性不足时，结构相似性的提高并不会带来推理质量的提升；而当表面信息相似性较高时，结构相似性越高，推理质量越好，说明老年人在表面信息相似性足够的基础上方可得益于结构相似性的提高，$F(1,59) = 4.24$, $p < 0.05$, $\eta^2 = 0.067$, $MD = 0.22$ (见图 1 右)。

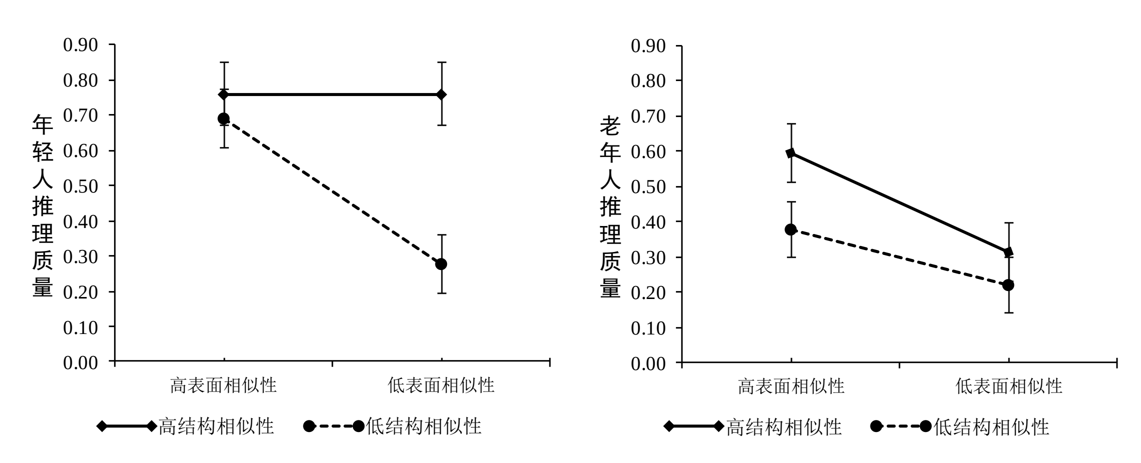


图 1　年轻人–老年人在不同相似性条件下的推理质量

3.2　推理质量与检索质量的关系

在推理质量上，老年人更依赖表面相似性，年轻人更依赖结构相似性。为检验不同年龄组在推理上表现出的差异是否是由于检索源问题中对应信息的差异导致的，我们对不同相似性条件下，被试对源问题的表面信息和结构信息的检索质量进行了分析，各条件下的检索质量见表 4。

表 4　不同相似性条件下的对源问题的检索质量($M \pm SD$)

组别	信息类型	表面信息		结构信息	
	相似性	F1	F3	F1	F3
年轻组	E1	1.21 ± 1.15	1.21 ± 1.01	0.93 ± 1.10	1.34 ± 1.05
	E3	1.69 ± 1.17	1.83 ± 0.89	1.07 ± 1.03	2.17 ± 0.89
老年组	E1	0.09 ± 0.39	0.44 ± 0.91	0.13 ± 0.42	0.44 ± 0.91
	E3	0.59 ± 0.98	0.59 ± 0.80	0.53 ± 0.92	0.91 ± 1.09

以检索源问题表面信息和结构信息的质量得分为因变量，在两个年龄组内，分别对表面信息和结构信息的检索质量进行 2(表面相似性：高/低)×2(结构相似性：高/低)被试内方差分析。结果发现，老年组内，表面信息检索质量随表面相似性增加而提高[$F(1,31) = 8.34$, $p < 0.01$, $\eta^2 = 0.212$]，随结构相似性增加变化不大[$F(1,31) = 1.60$, $p = 0.215$]，交互作用不显著[$F(1,31) = 1.518$, $p = 0.227$]。结构信息检索质量随表面相似性[$F(1,31) = 12.35$, $p < 0.01$, $\eta^2 = 0.285$]和结构相似性[$F(1,31) = 4.94$, $p < 0.05$, $\eta^2 = 0.137$]的增加而显著提高；交互作用不显著[$F(1,31) = 0.05$, $p = 0.829$]。总的来说，表面相似性对老年人的检索质量影响更大一些，印证了在推理质量上，表面信息对老年人更重要。年轻组内，表面信息检索质量也随表面相似性

增加而提高[$F(1,28) = 7.93$, $p < 0.05$, $\eta^2 = 0.221$]，随结构相似性增加变化不大[$F(1,28) = 0.194$, $p = 0.663$]，交互作用不显著[$F(1,28) = 0.11$, $p = 0.738$]。结构信息检索质量随表面相似性[$F(1,28) = 6.057$, $p < 0.05$, $\eta^2 = 0.178$]和结构相似性[$F(1,28) = 18.46$, $p < 0.01$, $\eta^2 = 0.397$]的增加都显著提高，交互作用亦不显著[$F(1,28) = 3.78$, $p = 0.062$]。与老年组不同的是，结构相似性增加有助于年轻人检索源问题的结构信息，表面相似性增加有助于年轻人检索表面信息。

对不同年龄组的总体推理质量与总体检索质量进行相关分析，发现年轻人的推理质量与检索质量存在显著正相关 $r = 0.30$ ($p < 0.001$)，老年的推理质量与检索质量也存在显著正相关 $r = 0.37$ ($p < 0.001$)，表明被试对源问题的提取越好，其对靶问题的回答结果也越好。

4 讨论

本研究总体发现，在年龄特征上，老年人的类比推理成绩比年轻人差。源问题和靶问题间表面相似性与结构相似性的提高会带来推理质量的提升。这与许多研究得出了相同结论(Holyoak & Koh, 1987; Schnotz & Baadte, 2015)。表面相似性对老年人的推理质量影响更大，而对于年轻人而言，结构相似性对其推理质量作用更大。探讨表面相似性和结构相似性对老年人类比推理的作用是本研究关注的重点。

首先，类比推理出现了老化，与前人研究一致(Aichelburg et al., 2016; Bugaiska & Thibaut, 2015; Salthouse, 2005)，但本研究发现的基于问题解决式的类比推理成绩的年龄差异，相比于经典类比推理任务的年龄差异较小。对比两种范式，以年轻人推理成绩的标准差为标准，用两年龄组的各自推理得分之差除以该范式下年轻人标准差(Gerstorf, Ram, Hoppmann, Willis, & Schaie, 2011)，以此衡量不同任务范式下推理成绩的年龄差异。可以发现，在经典类比推理范式下，老年人的成绩比年轻人低 3.20*SD* (老年人：1.08 ± 0.87; 年轻人：6.82 ± 1.79; 高悦，彭华茂，王大华和文静, 2014)或 1.73*SD* (老年人：59.9 ± 9.2; 年轻人：79.1 ± 11.1; Salthouse, 1992b)；而在本研究中老年人的成绩比年轻人低 0.86*SD* (老年人：0.38 ± 0.25; 年轻人：0.62 ± 0.28)。由此可见，在使用更具生态效度的问题解决范式时，老年人的推理成绩有所提升，与年轻人差距更小。总的来说，这种比较方法源于追踪研究中对不同同辈群体(cohort)的比较(Hülür, Ram, & Gerstorf, 2015; Schilling, 2005)，但跨研究数据之间的比较是不够严谨的，只能作为粗略探讨。

其次，在信息相似性的作用上，以往研究发现表面相似性和结构相似性对成功的类比推理很重要(Catrambone, 2002)，本研究也予以证明，且进一步发现表面相似性对老年人重要，

结构相似性对年轻人重要。有关源问题检索质量的分析也进一步印证了这一结果：表面相似性可以促进老年人对源问题表面信息的检索，因而提高了推理质量；结构相似性和表面相似性可以分别促进年轻人对源问题中结构信息和表面信息的检索，同样有利于促进年轻人的推理质量。在发展研究中, Gentner (1988)提出了关系转移(relational shift)的概念，即随着年龄增长，从依赖表面信息进而依赖结构信息，本研究发现在老年期出现了与童年期类似的依赖表面信息，这启示我们发展可能具有某种连续性和螺旋上升性。为何会出现这样随年龄的变化？首先，老年人的认知能力特点可能使其对表面相似性更敏感。Morrison (2005)和Salthouse (1992b, 2005)对推理老化的研究结果进行分析，认为在推理过程中，需将众多关系同时储存在脑海里进行整合，即推理成绩受到工作记忆容量的限制，相比结构信息，表面信息更易于提取(Catrambone, 2002)，认知负荷较少，是相对提取结构信息更自动化的过程(Chen et al., 2004)，故老年人表现出对表面信息的依赖。这在认知能力尚处于发展阶段的儿童中也得到类似结果，儿童表现出对表面信息的依赖，无法利用结构相似性，而心理模型(mental model)的出现在其中起着重要作用(Brown, Kane, & Echols, 1986)。其次，动机有可能在进行信息加工时具有重要作用，老年人一方面倾向于简化与环境的互动、减少信息加工的数量和复杂度以保存心理资源(Kossowska, 2007)，故较少利用高级规则指导其解决新异问题;另一方面，老年人表现出较高的认知闭合需要，表现出一种高度警觉(hypervigilance)，即更多地去低效率加工无关信息而非图式相关信息，即更多检索出表面信息(Kossowska, Jaśko, Bar-Tal, & Szastok, 2012)。最后，老年人在推理中出现对表面相似性的依赖可能与理解词汇及词汇整合能力衰退有关。在实验材料中，表面信息多为名词，结构信息多为动词，推理时老年人需回忆并写出源问题。而在词语回忆研究中发现，老年人出现名词回忆优势现象，即回忆名词优于回忆动词，因为动词相比名词更为抽象，不如名词含义清晰、明确，同时在句子中整合名词比整合动词要容易许多(Earles & Kersten, 2000)。

最后，在推理质量和检索质量的关系上，本研究发现，不论哪个年龄组，检索质量总体和推理质量相关，表明被试提取源问题信息越好，越有助于其解决靶问题。这与前人研究一致，推理失败的原因在于无法通达长时记忆中的源问题或无法映射源问题中的实体和初级关系(Chen et al., 2004)。类比能力是一种领域一般性的能力，利用长时记忆中的经验来解决当前问题有利于适应环境变化。在类比能力的发生发展研究中，儿童成功具备类比能力的分水岭在于是否能够正确表征关系、提取信息、忽略无关信息的影响和工作记忆系统的成熟(Morrison & Cho, 2008)。有关推理能力发展的脑成像研究中也发现，在推理过程中，年龄相关的左前腹外侧前额叶皮质(left anterior ventrolateral prefrontal cortex)的参与在提取信息中

重要作用，该脑区的激活有助于个体更好地完成推理任务(Bunge, Wendelken, Badre, & Wagner, 2005; Wright, Matlen, Baym, Ferrer, & Bunge, 2008)。这些研究均表明有效地检索源问题信息对推理具有重要作用。

老年人在生活中常遇到需要将以往情境中的经验迁移到新的生活场景中的问题。本研究发现，老年人的类比推理更依赖表面相似性，因此在设计老年人产品时，为使其更好地理解产品的功能，首先尽可能使得新情境与源情境中的表面相似性足够充分，可以帮助老年人有效提取源情境的相关信息，从而实现推理。其次，在表面信息充足的基础上，周围人可在新情境中提示老年人基于已有知识去总结规律，在结构信息上给予指导。如在教老年人使用手机时，微信、QQ 和 Facetime 软件中的某些功能是类似的，但老年人在学会其中一种后再使用另一种仍需指导，依赖于特定情境，无法抽象出规则。为帮助其在相似的通讯软件中理解类似的功能，可首先帮助其掌握表面信息，即识别手机界面图标的通用含义；其次再使其理解长按发送语音在不同软件中具有共性，使其理解背后的高级关系。类似的，在设计老年人使用的不同 APP 时，也应营造相似的界面减少其学习成本，提高老年人推理迁移的能力。

5 研究不足与展望

本研究还存在一些不足。第一，材料可进一步生态化，更贴近生活，如日常生活决策、人际问题等，研究者关注到在解决新问题时社会情境的作用，如问题情境是社会/非社会性的，个体特质及关系满意度等(Hoppmann & Blanchard-Fields, 2011)，当问题情境涉及人际关系时，年龄带来的变异也许会进一步减小(Thornton & Dumke, 2005)。第二，本研究仍是在相同的情境中进行推理，并提示个体可回忆先前读过的故事，但在生活情境中推理是自动化发生的，未来可研究将习得的规则推理迁移到不同的问题情境中，考察是否存在跨情境的远迁移效果。第三，有必要进行生命全程的对比研究，对比老年人、年轻人、儿童在类比推理上表现上的特点，以获得生命全程发展中类比推理的发展特征。

6 结论

(1)老年人出现了类比推理的老化;

(2)表面信息和结构信息的相似性对推理质量有显著影响，相似性越高，推理质量越好;

(3)表面相似性对老年人的推理和检索过程更为重要，老年人在表面信息足够的基础上

方可得益于结构相似性的提高。

参考文献

Aichelburg, C., Urbanski, M., Thiebaut de, S. M., Humbert, F., Levy, R., & Volle, E. (2016). Morphometry of left frontal and temporal poles predicts analogical reasoning abilities. *Cerebral Cortex, 26*(3), 915–932.

Brown, A. L., & Kane, M. J. (1988). Preschool children can learn to transfer: Learning to learn and learning from example. *Cognitive Psychology, 20*(4), 493–523.

Brown, A. L., Kane, M. J., & Echols, C. H. (1986). Young children's mental models determine analogical transfer across problems with a common goal structure. *Cognitive Development, 1*(2), 103–121.

Bugaiska, A., & Thibaut, J-P. (2015). Analogical reasoning and aging: The processing speed and inhibition hypothesis. *Aging, Neuropsychology, and Cognition, 22*(3), 340–356.

Bulloch, M. J., & Opfer, J. E. (2009). What makes relational reasoning smart? Revisiting the perceptual-to-relational shift in the development of generalization. *Developmental Science, 12*(1), 114–122.

Bunge, S. A., Wendelken, C., Badre, D., & Wagner, A. D. (2005). Analogical reasoning and prefrontal cortex: Evidence for separable retrieval and integration mechanisms. *Cerebral. Cortex, 15*(3), 239–249.

Catrambone, R. (2002). The effects of surface and structural feature matches on the access of story analogs. *Journal of Experimental Psychology: Learning, Memory, and Cognition, 28*(2), 318–334.

Chan, J., Paletz, S. B. F., & Schunn, C. D. (2012). Analogy as a strategy for supporting complex problem solving under uncertainty. *Memory & Cognition, 40*(8), 1352–1365.

Chen, Z., & Siegler, R. S. (2013). Young children’s analogical problem solving: Gaining insights from video displays. *Journal of Experimental Child Psychology, 116*(4), 904–913.

Chen, Z., Mo, L., & Honomichl, R. (2004). Having the memory of an elephant: Long-term retrieval and the use of analogues in problem solving. *Journal of Experimental Psychology: General, 133*(3), 415–433.

Clark, E., Gardner, M. K., Brown, G., & Howell, R. J. (1990). Changes in analogical reasoning in adulthood. *Experimental Aging Research, 16*(1-2), 95–99.

Earles, J. L., & Kersten, A. W. (2000). Adult age differences in memory for verbs and nouns. *Aging, Neuropsychology, and Cognition, 7*(2), 130–139.

Gao, Y., Peng, H. M., Wang, D. H., & Wen, J. (2014). The Role of Working Memory in Inductive Reasoning Aging. *Journal of Psychological Science, 37*(1), 106–110.

[高悦，彭华茂，王大华，文静. (2014). 工作记忆在归纳推理能力老化中的作用. *心理科学, 37*(1), 106–110.]

Gentner, D. (1983). Structure-mapping: A theoretical framework for analogy. *Cognitive Science, 7*(2), 155–170.

Gentner, D. (1988). Metaphor as structure mapping: The relational shift. *Child Development, 59*(1), 47–59.

Gentner, D., Rattermann, M. J., & Forbus, K. D. (1993). The roles of similarity in transfer: Separating retrievability from inferential soundness. *Cognitive Psychology, 25*(4), 524–575.

Gerstorf, D., Ram, N., Hoppmann, C., Willis, S. L., & Schaie, K. W. (2011). Cohort differences in cognitive aging and terminal decline in the Seattle Longitudinal Study. *Developmental Psychology, 47*(4), 1026–1041.

Gick, M. L., & Holyoak, K. L. (1983). Schema induction and analogical transfer. *Cognitive Psychology, 15*(1), 1–38.

Goswami, U. (1991). Analogical reasoning: What develops? A review of research and theory. *Child Development, 62*(1), 1–22.

Holyoak, K. J., & Koh, K. (1987). Surface and structural similarity in analogical transfer. *Memory & Cognition, 15*(4), 332–340.

Hoppmann, C. A., & Blanchard-Fields, F. (2011). Problem-solving variability in older spouses: How is it linked to problem-, person-, and couple-characteristics? *Psychology and Aging, 26*(3), 525–531.

Hülür, G., Ram, N., & Gerstorf, D. (2015). Historical improvements in well–being do not hold in late life: Birth-and death-year cohorts in the United States and Germany. *Developmental Psychology, 51*(7), 998–1012.

Isella, V., Molteni, F., Mapelli, C., & Ferrarese, C. (2015). Short term memory for single surface features and bindings in ageing: A replication study. *Brain and Cognition, 96*, 38–42.

Jablansky, S., Alexander, P. A., Dumas, D., & Compton, V. (2016). Developmental differences in relational reasoning among primary and secondary school students. *Journal of Educational Psychology, 108*(4), 592–608.

Jeste, D. V., & Oswald, A. J. (2014). Individual and societal wisdom: Explaining the paradox of human aging and high well-being. *Psychiatry: Interpersonal and Biological Processes, 77*(4), 317–330.

Koehler, D. J., Brenner, L. A., Liberman, V., & Tversky, A. (1996). Confidence and accuracy in trait inference: Judgment by similarity. *Acta Psychologica, 92*(1), 33–57.

Kossowska, M. (2007). The role of cognitive inhibition in motivation toward closure. *Personality and Individual Differences, 42*(6), 1117–1126.

Kossowska, M., Jaśko, K., Bar-Tal, Y., & Szastok, M. (2012). The relationship between need for closure and memory for schema-related information among younger and older adults. *Aging, Neuropsychology, and Cognition, 19*(1–2), 283–300.

Liviatan, I., Trope, Y., & Liberman, N. (2008). Interpersonal similarity as a social distance dimension: Implications for perception of others' actions. *Journal of Experimental Social Psychology, 44*(5), 1256–1269.

Monge, Z. A., Greenwood, P. M., Parasuraman, R., & Strenziok, M. (2016). Individual differences in reasoning and visuospatial attention are associated with prefrontal and parietal white matter tracts in healthy older adults. *Neuropsychology, 30*(5), 558–567.

Morrison, R. G. (2005). Thinking in working memory, In K. J. Holyoak & R. G. Morrison (Eds.), *The Cambridge Handbook of Thinking and Reasoning* (pp. 457–473). Cambridge, England: Cambridge University Press.

Morrison, R. G., & Cho, S. (2008). Neurocognitive process constraints on analogy: What changes to allow children to reason like adults?. *Behavioral and Brain Sciences, 31*(4), 391–392.

Pierce, K. A., & Gholson, B. (1994). Surface similarity and relational similarity in the development of analogical problem solving: Isomorphic and nonisomorphic transfer. *Developmental Psychology, 30*(5), 724–737.

Rhodes, S., Parra, M. A., Cowan, N., & Logie, R. H. (2017). Healthy aging and visual working memory: The effect of mixing feature and conjunction changes. *Psychology and Aging, 32*(4), 354–366.

Ross, B. H. (1984). Remindings and their effects in learning a cognitive skill. *Cognitive Psychology, 16*(3), 371–416.

Ross, B. H. (1989). Distinguishing types of superficial similarities: Different effects on the access and use of earlier problems. *Journal of Experimental Psychology: Learning, Memory, and Cognition, 15*(3), 456–468.

Saczynski, J. S., Willis, S. L., & Schaie, K. W. (2002). Strategy use in reasoning training with older adults. *Aging, Neuropsychology, and Cognition, 9*(1), 48–60.

Salthouse, T. A. (1992b). Working-memory mediation of adult age differences in integrative reasoning. *Memory & Cognition, 20*(4), 413–423.

Salthouse, T. A. (2005). Effects of aging on reasoning. In K. J. Holyoak & R. G. Morrison (Eds.), *The Cambridge Handbook of Thinking and Reasoning* (pp. 589–605). Cambridge, England: Cambridge University Press.

Salthouse, T. A., Legg, S., Palmon, R., & Mitchell, D. R. (1990). Memory factors in age–related differences in simple reasoning. *Psychology and Aging, 5*(1), 9–15.

Schilling, O. K. (2005). Cohort- and age-related decline in elder's life satisfaction: Is there really a paradox? *European Journal of Ageing, 2*(4), 254–263.

Schnotz, W., & Baadte, C. (2015). Surface and deep structures in graphics comprehension. *Memory & Cognition, 43*(4), 605–618.

Sternberg, R. J., & Nigro, G. (1980). Development patterns in the solution of verbal analogies. *Child Development, 51*(1), 27–38.

Thornton, W. J. L., & Dumke, H. A. (2005). Age differences in everyday problem-solving and decision-making effectiveness: A meta–analytic review. *Psychology and Aging, 20*(1), 85–99.

Tunteler, E. & Resing, W. C. M. (2002). Spontaneous analogical transfer in 4-year-olds: A microgenetic study. *Journal of Experimental Child Psychology, 83*(3), 149–166.

Viskontas, I. V., Holyoak, K. J., & Knowlton, B. J. (2005). Relational integration in older adults. *Thinking & Reasoning, 11*(4), 390–410.

Viskontas, I. V., Morrison, R. G., Holyoak, K. J., Hummel, J. E., & Knowlton, B. J. (2004). Relational integration, inhibition, and analogical reasoning in older adults. *Psychology and Aging, 19*(4), 581–591.

Wright, S. B., Matlen, B. J., Baym, C. L., Ferrer, E., & Bunge, S. A. (2008). Neural correlates of fluid reasoning in children and adults. *Frontiers in Human Neuroscience, 1*(1), 8.

Xin, Z. Q. (2007). The Relation-representation complexity model. *Psychological Development and Education. 23*(3), 122–128.

[辛自强. (2007). 关系–表征复杂性模型. *心理发展与教育. 23*(3), 122–128.]

Zhang, Q. L., & Wang, Y. M. (1999). A research on the mechanism of analogical transfer. *Journal of Psychologicl Science (China), 22*(2), 141–143+191.

[张庆林, 王永明. (1999). 类比迁移发生机制的研究. *心理科学, 22*(2), 141–143+191.]

The role of surface and structural similarity in analogical reasoning aging: Based on the problem-solving paradigm

LI Meijia[1]; ZHUANG Danqi [2,1]; PENG Huamao[1]

([1] *Institute of Developmental Psychology, Beijing Normal University, Beijing 100875, China*)

([2] *Qianjin Network Information Technology (Shanghai) Co., LTD. Beijing branch, Beijing 100016, China*)

Abstract

Analogical reasoning is a major form of abstract logical thinking. It refers to the transferring process of knowledge from one situation or field to another. To transfer successfully when facing new problems, it is important for the elderly to retrieve the appropriate sources of knowledge as quickly as possible. Additionally, the elderly rich in life experience are supposed to be the embodiment of wisdom, which is also helpful. Previous research about the elderly's analogical reasoning mainly focused on the encoding stage, and, in most cases, the task paradigm was rigorous laboratory study. The task paradigm may have generated outcomes against participants' reactions in natural settings, causing reduced ecological validity and inability to present their real competence. The present study was based on the problem-solving paradigm rather than a laboratory-based experiment. We aimed to figure out whether the elderly retrograde in the retrieval of source problems and whether there exist age differences in the usage of surface information and structural information. The encoding quality between the old and young participants was ensured to be identical.

Twenty-nine young adults (age: M = 21.86, SD = 1.43) and thirty-two old adults (age: M = 69.09, SD = 5.11) participated in the experiment. This study used a mixed design in which age group (old/young) was a between-subjects variable and surface similarity (high/low) and structural similarity (high/low) were within-subjects variables. There were two phases included in the whole procedure. During the learning phase, participants learnt twenty source stories and summarized the higher-order relation of each. Three days later, twenty other target stories were presented in which participants were to figure out how to solve the problems with the hints they recalled from the source stories learnt three days ago. The performance of reasoning (quality of solving the target problem according to the source problem) and retrieving (quantity of surface and structural information retrieved) were the dependent variables.

The results showed that the elderly experienced analogical reasoning aging. To be specific, they relied more on the surface feature similarity than did the younger adults. As for surface and structural information, the more the information was provided, the better was their reasoning. It was beneficial to both age groups in reasoning when the surface and structural similarity increased, which indicated that the reasoning of the elderly and young people could benefit from better retrieval to the source problems. As for interaction effect, for the elderly in lack of surface information, increasing structural similarity would not enhance their reasoning quality. When there was enough surface and structural information, they performed the best. It implied that the elderly could benefit from structural similarity only on the condition that enough surface information was given. When retrieving information from source problems, surface feature exerted an across-information-type promotion effect on retrieval quality. However, the increase in structural information could only help the elderly to improve their retrieval in structural information. As for the younger adults, structural features and surface features were conducive to their retrieval of homogeneous information. With regard to the relation between retrieval quality and reasoning performance, the correlation was significant in both age groups. It enlightened us that people who cannot reason correctly were probably poor in retrieval.

To improve the performance of the elderly in analogical reasoning, we can increase the transmission of surface features, such as designing mobile phone apps with similar interfaces, which can reduce their learning cost. Further studies should focus on designing more realistic

contexts as well as delving into the process of how far transfer of learning happens.

Key words: analogical reasoning; transfer; problem solving paradigm; surface similarity; structural similarity